論文 鋼板一面補強による RC 梁せん断補強効果

田端 一雅*1・幸左 賢二*2・西岡 勉*3・中島 裕和*4

要旨:架下利用箇所における RC ラーメン高架橋柱の耐震補強工法として,既往の研究に より,柱の一側面から鋼板をアンカーボルトにより定着させるせん断補強工法が検討され ているが,本研究ではその補強法の有効性を本数,定着長をパラメータとした実験により 検討を加えた。実験の結果,アンカーボルトの定着長は 200mm 程度で十分であり,本数 を増加させるほど,補強効果が高くなることが分かった。また,実験結果を用い,鋼板補強 を行なった RC 部材の斜め引張破壊に対するせん断耐力の評価方法を提案した。 キーワード:鋼板補強,アンカーボルト,せん断破壊,せん断耐力

1. はじめに

従来,半永久的に強度や耐久性を有するとさ れてきたコンクリート構造物の劣化や損傷が近 年見受けられるようになり,補修や補強の必要 性が迫られるようになってきている。このよう な中,コンクリート橋脚の補強工法の一つとし て,鋼板をアンカーボルトで打ち付けることに より,せん断補強鋼材の不足を外部から補う方 法が多く用いられている。

鋼板による補強を行う場合, コンクリート橋 脚の全周を補強することが好ましい。しかし, 高架下を店舗等に利用している場合があり, そ のような橋脚では鋼板による全周の補強は困難 である。図-1に示すように,橋脚の限られた 面にのみ,鋼板の補強を行なうことは可能であ り,既往の研究¹⁾によって橋脚における1面鋼 板補強について, アンカーボルトの定着長を長 く伸ばした実験を実施している。

本研究ではさらにアンカーボルトの定着長お よび本数をパラメータとすることにより,せん 断耐力の補強効果について検討を加えた。また, 実験結果を用い,鋼板の1面せん断補強による せん断補強耐力の算出式を提案した。なお,本 実験では簡易的にせん断耐力の増加を評価する



図-1 補強手法図

ため, RC 梁型の供試体を用いて載荷実験を行なった。

2. 実験概要

実験供試体形状および,配筋状況を図-2, 3に示す。供試体のせん断スパン比はディープ ビームの影響が混在しないように a/d=2.5 とし た。また,鋼板による補強後も供試体がせん断 破壊するように,引張主鉄筋に D25 を 6 本,圧 縮主鉄筋には D22 を 3 本配置している。また, ひずみ分布を計測するため,せん断補強筋には 低せん断補強比 (ρ s=0.05%)でせん断耐力へ の影響が少ない D4 鉄筋を 150mm 間隔で配置し

- *1 九州工業大学大学院 工学研究科 建設社会工学専攻 (正会員) *2 九州工業大学 工学部 建設社会工学科 教授 Ph.D. (正会員)
- *3 阪神高速道路公団株式会社 大阪管理部 (正会員)
- *4 修成建設コンサルタント株式会社 構造部 (正会員)



a)供試体配筋図および、ボルト数12本の場合



b) ボルト数 21 本の場合

図-2 供試体図

ている。補強鋼板の厚さは 3.2mm であり, アン カーボルトとの接着は溶接により行なっている。 なお, アンカーボルトによるせん断抵抗を検討 するため, 鋼板に離型剤を塗布し, 鋼板に直接 せん断応力が伝わらないようにしている。

また、アンカーボルトの基部から 20mm の位置 において、上面および側面にそれぞれ 1 箇所ず つひずみゲージを設置し、計測を行っている。

表-1に、実験ケースを示す。本実験では、鋼板の1面せん断補強耐力算定にあたり、アンカ ーボルトの設置本数の効果と埋め込み長の効果 を明確にするため、アンカーボルトの本数を12 ~30本に、アンカーボルト長を100mm~200mm と変化させている。ここで、アンカーボルトの せん断強度 τyを用いて式(1)より、補強耐力を 算出し、曲げ耐力とせん断耐力を比較した。コ ンクリートのズレを考慮するため、斜めひび割 れが載荷板と支承板を結ぶ方向に発生すると仮 定し、そのひび割れよりも下側に位置する本数 をアンカーボルトの抵抗本数 n とした。As はア ンカーボルトの断面積である。

 $Ss = 2 \times n \times \tau_{y} \times As \qquad (1)$

表-1に示すように、補強効率が100%の場



図-3 供試体断面図

	ボルト		Du	S	5.	
Case	本数	埋込長 (mm)	Py (kN)	(kN)	(kN)	Py/S
1	12	100	302	140	152	1.03
2	21	100	302	140	266	0.74
3	12	200	302	140	152	1.03
4	21	200	302	140	266	0.74
5	30	200	302	140	426	0.53

※Pv:曲/航力(道路橋示方書より)

Sc:コンクリート負担せん断耐力(コンクリート標準示方書より)

Ss:アンカーボルト負担せん断力 (式(1)より)

表-2 材料特性

材料種	強度の種類	材料強度(N/mm ²)	
コンクリート	コンクリート圧縮強度	29	
建故	引張主鉄筋(D25)降伏強度	401	
亚大月刀	圧縮主鉄筋(D22)降伏強度	366	
アンカーボルト	鉄筋(D10)降伏強度	362	
鋼板	降伏強度	308	



合には, Case2, 4, 5 では曲げ耐力がせん断 耐力を上回る結果となっている。また、表-2に 材料特性を示す。

3. 実験結果

図-4に全供試体の鋼板を補強していない面 のひび割れ損傷図を示す。斜めひび割れ発生荷 重はいズレの供試体も350kN程度であった。た だし, Case2, 5 では梁中央部に細かいひびわれ が発生するのみであったが, Case1, 3, 4 では ひび割れ発生と同時に載荷板や支承板付近まで ひび割れが進展した。最大荷重時ではいずれの 供試体も同様の傾向を示し,初期に生じたひび 割れが載荷板や支承版方向に進展し,卓越して いる。その後,変位制御による載荷を続けたが, 斜めひび割れの分散は見られず,供試体のズレ が大きくなり,破壊に至った。

ここで、Case1~4 では最終破壊面における斜 めひび割れ角度が 27 度程度であったが、Case5 はひび割れ角度が 34 度程度と他のケースに比 べて急であった。Case5 は後述のように、アン カーボルト設置本数が最も多く、配置間隔が密 であるため、斜めひび割れがアンカーボルトに 沿って進展し角度が急となったと考えられる。



図-5に各供試体の荷重-変位曲線を示す。 荷重の増加勾配はいズレの供試体も等しいが, アンカーボルト本数が12本である Casea1,3 が 最大荷重が最も小さく,本数を21本に増加させ ると最大耐力が大きくなる結果となった。しか し,さらに設置本数を増加させた Case5 の最大 耐力は442kN 程度であり, Case2,4 に比べ低く なっている。

4. アンカーボルトの抵抗挙動

図-6に代表例として、Case1,2の最大荷重 時におけるアンカーボルトのひずみ分布を示す。 ここで、本実験ではせん断挙動に対するアンカ



ーボルトの抵抗を検討するが, せん断はズレ方 向の変形であるため, 圧縮ひずみと引張ひずみ において絶対値の大きい方を採用している。

最大荷重以前の、各アンカーボルトのひずみ 挙動は Case1、2 共に同様の傾向を示したが、 最大荷重以降は、Case1 では1本当たりのアン カーボルトのひずみが大きく,特に,支承板付 近のアンカーボルトに顕著なひずみが発生して いる。一方, Case2 では斜めひび割れ下側に位 置するアンカーボルトでひずみが分散しており, 1本当たりのひずみが小さい。

ここで、図-7に Case1 と Case2 におけるア ンカーボルトの抵抗挙動の模式図を示す。まず、 Case2 ではアンカーボルトの本数が多いため、 作用する応力を各アンカーボルトで分担するた め、広い範囲で供試体の変形を拘束し、補強耐 力が大きくなったと考えられる。

一方, Casel ではアンカーボルトの本数が少な いため, アンカーボルト1 本当たりの作用応力 が大きくなり、アンカーボルトの変形が生じ, 各アンカーボルトの負担応力に差が生じる。こ のような抵抗を繰り返すため,鋼板が均等に応 力を負担することができなくなることで,供試 体の変形を制御できなくなり,補強効果をあま り発揮できずに破壊に至ったと考えられる。し たがって,抵抗挙動の違いにより,アンカーボ ルトの本数を増加させることによって補強効果 が増し,最大耐力が大きくなったと考えられる。



次に,アンカーボルトの埋め込み長について 検討する。図-8にアンカーボルトの軸方向に おけるひずみの進展の比較を示す。Case3,4,5 では埋め込み長を 200mm としているが,アン カーボルトの抵抗領域を測定するため,ある特 定のボルトにおいて軸方向に3点でひずみを測 定した。

測定の結果,基部から20mmの位置における ひずみが顕著に進展し,基部から100mm、 180mmの位置のひずみはあまり進展していな い。よってアンカーボルトの抵抗領域は100mm 未満と推察され、定着長がせん断耐力に与える 影響は少ないと考えられる。したがって,アン カーボルト長200mmのCase3,4対し,埋め込 み長が100mmであるCase1,2の最大耐力がそ れぞれ同等となったと考えられる。

5. 考察

5.1 各部材が負担するせん断力

図-9にアンカーボルトが負担するせん断力 を示す。ここで、アンカーボルト負担せん断力 は、発生したひずみが、斜めせん断に抵抗し発 生するひずみに比例すると仮定し、式(2)より算 出した。 ϵ は図—8に示す基部から 20mm に設 置した 2 箇所の測定ひずみの絶対値の大きい方 を採用した。抵抗本数 n は実損傷におけるひび 割れ下側に位置するアンカーボルトの本数とし た。E はアンカーボルトの弾性係数である。

$$S_{S}' = \sum_{i=1}^{n} \{A_{S} \times \varepsilon \times E\}$$
(2)

算出した結果,何れの供試体も鉛直変位 2.0mm 程度から,アンカーボルトがせん断力を 負担し始めており,Case1~4では等しい勾配で 増加していることが分かる。

図-10 にコンクリートが負担するせん断力 を示す。コンクリート負担せん断力は載荷荷重 亜から、アンカーボルト負担せん断力を差し引 くことにより算出している。図より、何れの供 コンクリート標準示方書より求めた値を無補強 供試体の最大値と仮定し、評価を行なう。



図-11 Case5 の鋼板側のひび割れ性状(終局時) 試体も同様の傾向を示し,変位 4.0mm 程度で最 大となっている。また,最大値も全ケースでほ ぼ同等となっているが,コンクリート標準示方 書¹⁾に示されるせん断耐力算出式により求めた 値と近い値となった。したがって,本検討では 5.2 case5 について

ここで、図-10 を見ると、Case5 が他ケース に比べ、増加勾配が大きくなっている。この原 因について、考察を行う。

図-11 に終局時における Case5 の鋼板側のひ び割れ性状を示す。これは実験終了後,鋼板の はつりとりを行い,計測した。図-4の裏面で のひび割れ図と比較すると,ひび割れ本数が多 く,広く分散している。これは,アンカーボル トおよび鋼板による拘束効果が要因であると考 えられる。Case5 はアンカーボルトの設置間隔 が短いため,ボルト間のひび割れ伝達が促進さ れ,ひび割れの進展が早まり,ひび割れ角度も 急となったと考えられる。よって,コンクリー トの抵抗力が急激に低下し,アンカーボルトへ の負担の移行が早まり,アンカーボルト負担せ ん断力の増加が顕著となったと考えられる。

6. せん断耐力評価式の提案

鋼板補強による補強耐力評価式を提案するに 当たり,最大荷重時においてアンカーボルトが どの程度有効に働いているかを検討する。

図-12 にアンカーボルト負担せん断力より 求めた有効率を示す。有効率は式(2)で与えられ た Ss'を式(1)で求まる Ss で除すことにより算出 した。図より, Casel がやや大きな値を示すが, いずれのケースについてもほぼ同等の値を示し ている。全ケースの平均値は 0.55 であった。

次に,各供試体の最大耐力から土木学会式よ り算出した無補強供試体の耐力を差し引き、補 強耐力を求め,有効率を算出した。載荷板と支 承板を結ぶひび割れによって区分されたアンカ ーボルト本数(仮定抵抗本数)を用いた結果を 図-13a) に、実損傷ひび割れ下側に位置するア ンカーボルト本数を用いた算出結果を図-13b) に示す。Case1~4 は値が変化していないが, Case5 は仮定ひび割れと実損傷におけるひび割 れ角度が異なるため,仮定抵抗本数で計算した 場合に比べ、実抵抗本数で算出した値の方が大 きくなっている。また、Case3 は算出方法が異 なっても有効率が 0.27 と低くなっている。これ は、鋼板とコンクリート間の付着が確保されて いないため、補強効果に差異が生じやすく、各 ケースの有効係数に差異が生じたと考えられる。 以上の検討により, RC 部材における鋼板の斜 め引張破壊に対する1面せん断補強耐力を,式 (3)により評価することと提案した。なお、有効 係数は仮定抵抗本数を用い、最大荷重から求め た有効率の平均値を採用している。

 $Ss = 0.48 \times n \times \tau y \times As$ (3)

7. まとめ

以下に,本研究で得られた結論を示す。



- (1) 1 面鋼板補強を行なった RC 梁の載荷実験 により,埋め込み長が 100mm でも,十分な 定着長を有していることが明らかとなった。
- (2) 実験より、アンカーボルトの平均有効係数が 0.48 となったが、鋼板とコンクリートの付着が確保されていないため、各ケースで有効係数に大きな差異が生じる結果となった。

参考文献

- 小林薫,石橋忠良:RC柱の一面から施工する耐震補強工法の補強効果に関する実験的研究,土木学会論文集,No.683/V-52, pp75-89,2001.8
- 2) 土木学会:コンクリート標準示方書設計編, pp60-61, 1996.6